

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт

з курсу

# **ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА**

*(для студентів усіх форм навчання напряму підготовки  
6.050702 – Електромеханіка  
та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.05070203 – Електричний транспорт)*

**Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2015**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Теорія електропривода" (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 – Електромеханіка та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203 – Електричний транспорт) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. В. Донець, О. М. Петренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015 – 38 с.

Укладачі: О. В. Донець  
О. М. Петренко

Рецензент: доц. В. П. Андрійченко

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 2 від 12 жовтня 2010 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення про виконання лабораторних робіт.....	6
2 Правила техніки безпеки та протипожежні заходи.....	7
Лабораторна робота № 1 .....	8
Лабораторна робота № 2.....	15
Лабораторна робота № 3.....	20
Лабораторна робота № 4.....	29
Лабораторна робота № 5.....	35
Список літератури.....	37

## ВСТУП

За останні роки частка частотно-регульованих асинхронних електроприводів значно збільшилась. Цьому посприяли значні успіхи силової електроніки - освоєння виробництва біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), силових модулів на їхній основі (стійки й цілі інвертори), а також силових інтелектуальних модулів (IPM) із засобами захисту ключів й інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем керування. Крім того, масове впровадження мікроконтролерів з вбудованим набором спеціалізованих периферійних пристроїв витіснило аналогові системи керування електроприводами.

В економічно розвинених країнах міський електротранспорт та підприємства житлово-комунального господарства (ліфтові служби, водопостачання тощо) практично повністю перейшли на частотно-регульований асинхронний електропривод. Це викликано прагненням понизити питомі енерговитрати і експлуатаційні витрати, підвищити надійність електропривода, збільшити термін служби електроустаткування і поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Використання мікропроцесорної системи керування (МПСК) розширяє функціональні можливості електропривода, поліпшує його статичні та динамічні характеристики за рахунок реалізації оптимальних законів і алгоритмів широтно-імпульсного керування інвертором.

МПСК забезпечує частотний пуск, роботу та гальмування електропривода по заданому алгоритму.

Задані характеристики електропривода підтримуються МПСК на протязі всього терміну роботи, а, при необхідності, можуть корегуватись шляхом вдосконалення алгоритмів керування на програмному рівні. Це дозволяє, не змінюючи структури системи керування, покращувати її ефективність, а в кінцевому рахунку – збільшити термін роботи електрообладнання та знизити експлуатаційні затрати. Крім того, використання МПСК забезпечує ефективну

систему діагностики електроприводу. Появляється можливість записувати процеси, що протікають в силовій частині електроприводу та системі керування, з подальшим відтворенням їх на екрані монітора персонального комп'ютера (ПК).

Для підготовки кваліфікованих спеціалістів з спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» необхідно мати сучасні лабораторні стенди частотно-регульованих асинхронних електроприводів з мікропроцесорними системами керування. Це дозволить студентам при проведенні лабораторних та науково-дослідних робіт поглибити свої знання з систем керування, навчитися налагоджувати та досліджувати такі системи, оптимізувати параметри різних видів регуляторів, аналізувати одержані результати в виді осцилограм та на їх основі робити відповідні висновки.

При проведенні лабораторних робіт необхідно опиратися на загальні положення про виконання лабораторних робіт.

## **1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Викладачі, що проводять заняття, розподіляють студентів на бригади, по 4-5 чоловік та призначають в кожній бригаді одного студента старшим.

Перед проведенням лабораторних робіт викладачі проводять перевірку теоретичних знань студентів з теми лабораторної роботи, яку бригада буде виконувати. Студенти повинні вдома готуватися до лабораторної роботи, уявити мету та завдання її проведення, ознайомитись з літературою. Якщо студенти прийшли на заняття не підготовленими або не склали звіт про попередню роботу, то до виконання наступної роботи не допускаються.

Тривалість проведення однієї лабораторної роботи – 2-4 години.

Після виконання лабораторної роботи викладач перевіряє результати експериментів та робить відмітку в своєму журналі про виконання роботи, а студенти оформляють звіт.

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- найменування та мету роботи;
- найменування лабораторного стенду, на якому проводилась робота;
- схеми лабораторного стенду або його складових, які вивчались та досліджувались;
- опис лабораторного стенду або його складових, які вивчались та досліджувались;
- опис режимів роботи стенду та його складових;
- осцилограми з параметрами досліджень;
- висновки.

## **2 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ**

Перед виконанням лабораторних робіт для групи студентів проводиться інструктаж з правил техніки безпеки та протипожежних заходів, після чого робляться відповідні записи в журналі з техніки безпеки та протипожежних заходів і студенти розписуються в ньому.

Перед проведенням кожної роботи викладачі нагадують студентам про необхідність виконання правил техніки безпеки та протипожежних заходів, а також проводять додатково інструктаж на робочому місці, під час якого звертають увагу на особливості охорони праці при виконанні конкретної лабораторної роботи.

Студенти повинні засвоїти порядок подачі напруги на стенд, місця розташування силового електрообладнання, апаратури захисту та сигналізації.

Подавати напругу на стенд та проводити роботу можна тільки з дозволу викладача.

Дії студентів однієї бригади повинні бути строго узгоджені.

Дозволяється включати електрообладнання тільки на одному лабораторному стенді.

Перед подачею напруги на стенд необхідно переконатися, що всі органи керування вимкнуті або знаходяться в нульовому положенні.

При виконанні лабораторних робіт не дозволяється працювати на несправному обладнанні або використовувати несправні прилади та інструмент.

Забороняється залишати увімкненим електричне обладнання стенду навіть на короткий час та проводити будь-які роботи під час встановлених перерв.

При проведенні діагностики лабораторного стенду з увімкненими джерелами живлення необхідно дотримуватись запобіжних заходів.

У приміщенні лабораторії категорично забороняється використовувати відкритий вогонь та курити. У разі виникнення пожежі необхідно загасити вогонь за допомогою вогнегасника, що знаходиться у лабораторії. При загорянні елементів стенду, які знаходяться під напругою, потрібно спочатку вимкнути живлення, а потім гасити вогонь.

Місцеве живлення лабораторних стендів вимикається на кожному стенді автоматичними вимикачами, розетки та загальне живлення лабораторних стендів – автоматичними вимикачами, які розташовані на розподільному пристрої при вході в лабораторію.

## ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ПРИВОДУ

МЕТА РОБОТИ – визначення моменту інерції приводу з двигуном постійного струму паралельного збудження і з асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором методом вільного вибігання або самогальмування.

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ: універсальний стенд для дослідження приводу з двигуном постійного струму паралельного збудження і з асинхронним двигуном.

### Основні теоретичні положення

Суть вільного вибігання або самогальмування полягає в наступному. Якщо відключити приводний двигун, що працює вхолосту від джерела живлення, то елементи (маховик, якір і т. п.), що обертаються, продовжуватимуть обертатися за рахунок кінетичної енергії, поступово гальмуючись через дію гальмуючих сил, обумовлених втратами обертання.

Відомо, що кінетична енергія частин приводу, що обертаються

$$A = J \frac{\omega^2}{2} \text{ [дж]}, \quad (1.1)$$

де  $J$  — момент інерції приводу,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega$  — кутова швидкість,  $\text{рад/с}$ .

Кутову швидкість можна виразити таким чином:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ [рад/с]} \quad (1.2)$$

Підставляючи у вираз (1.1) значення з, отримаємо

$$A = \frac{Jn^2}{180} \text{ [дж]} \quad (1.3)$$

Очевидно, що енергія, запасена приводом, при самогальмуванні буде витрачена на подолання втрат обертання за період гальмування.

Вираз (1.3) дає можливість визначити момент інерції приводу

$$J = 180 \frac{A}{n^2} \text{ [кг м}^2\text{]}. \quad (1.4)$$

Для визначення роботи  $A$ , витраченою на подолання втрат обертання за час самогальмування, досвідченим шляхом знімають криву вибігання  $n=f(t)$  і криву залежності втрат обертання від швидкості  $\Delta P_{\text{вп}}=f(n)$  криві 1 і 2 відповідно на рисунку 1.1.



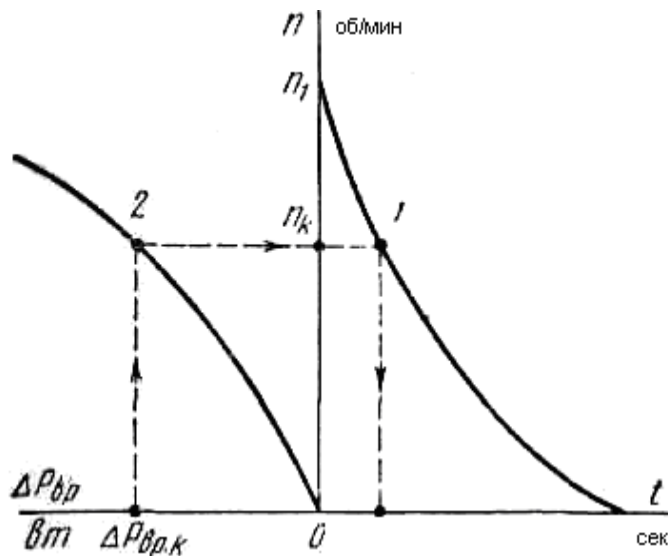


Рисунок 1.1 – Залежності  $n=f(t)$  і  $\Delta P_{\text{вр}}=f(n)$

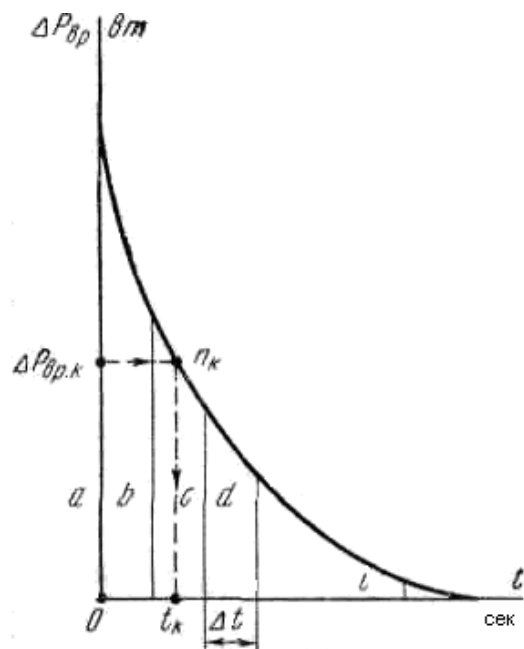


Рисунок 1.2 – Залежність  $\Delta P_{\text{вр}}=f(t)$

По цих кривих будують залежність втрат обертання від часу  $\Delta P_{\text{вр}}=f(t)$  (рис. 1.2). Оскільки

$$A = \int_0^{t_T} \Delta P_{\text{вр}} dt \text{ [дж]} \quad (1.5)$$

де  $t_T$  — час гальмування, с;  
 $\Delta P_{\text{вр}}$  — втрати обертання, Вт.

то площа (рис. 1.2), ув'язана, між кривою і осями координат дорівнюватиме роботі  $A$ . Ця площа визначається таким чином:

$$A = \Delta t \left( \frac{a}{2} + b + c + d + \dots + \frac{1}{2} \right) \text{ [дж]}. \quad (1.6)$$

тут  $\Delta t$  — відрізок часу, с;  
 $a, b, c, d, \dots, i$  — відповідні ординати, Вт.

Якщо досвід вільного вибігання проводиться від швидкості  $n$  до  $n_k$ , а не до повної зупинки, тобто знімаються тільки частини кривих  $n=f(t)$  і  $\Delta P_{\text{вр}}=f(n)$ , то формула (1.4) набуває наступного вигляду:

$$J = 180 \frac{A'}{n^2 - n_k^2} \text{ [кг·м}^2\text{]} \quad (1.7)$$

де  $A'$  — робота (дж), визначувана площею, ув'язненою між частиною кривої (рис. 1.4), осями координат і вертикаллю, проведеною через крапку, відповідну швидкості  $n_k$ .

Для визначення втрат обертання  $P_{вр}$  двигуна постійного струму з паралельним збудженням обчислюють потужність холостого ходу і втрати в міді:

$$P_0 = UI_0 \text{ [Вт]} \quad (1.8)$$

$$\Delta P_{мед} = I_0^2 R_{я} \text{ [Вт]} \quad (1.9)$$

де  $U$  – напруга на затисках двигуна, В;

$I_0$  – струм якоря при холостому ході приводу, А;

$R_{я}$  – опір обмотки якоря, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки, Ом.

З формул (1.8) і (1.9) виходить, що

$$\Delta P_{вр} = P_0 - \Delta P_{мед} \text{ [Вт]} \quad (1.10)$$

Втрати обертання обчислюють для кожного вимірювання швидкості, після чого за отриманими даними будують криву залежності  $\Delta P_{вр} = f(t)$  (рис. 1.1, крива 2).

Викладений метод визначення моменту інерції найчастіше застосовується для регульованих двигунів, зокрема, для двигуна постійного струму з паралельним збудженням.

Для нерегульованих двигунів, наприклад асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, визначення моменту інерції проводиться за допомогою дотичної, що проводиться в початковій точці А (рис. 1.5) до кривої  $n = f(t)$ . Цей метод є наближенням.

Основне рівняння руху, електроприводу має наступний вид:

$$M_{д} = M_{с} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{dn}{dt}, \quad (1.11)$$

де  $M_{д}$  — момент двигуна, н м;

$M_{с}$  — момент опору, н м;

$n$  — швидкість, об/хв;

$t$  — час, с.

У разі самогальмування  $M_{д}=0$ , а  $M_{с}$  є загальним моментом опору механізму і моменту втрат обертання приводу, тоді вираз (1.11) для  $J$  набере вигляду

$$J = -9,55 M_{с} \frac{dt}{dn} \text{ [кг·м}^2\text{]} \quad (1.12)$$

Якщо знята крива вибігання (крива 1 на рис. 1.3) або частина її, то, проводячи дотичну до цієї кривої в початковій точці вибігання А до перетину з віссю абсцис, отримують величину  $t_{нідк}$ .

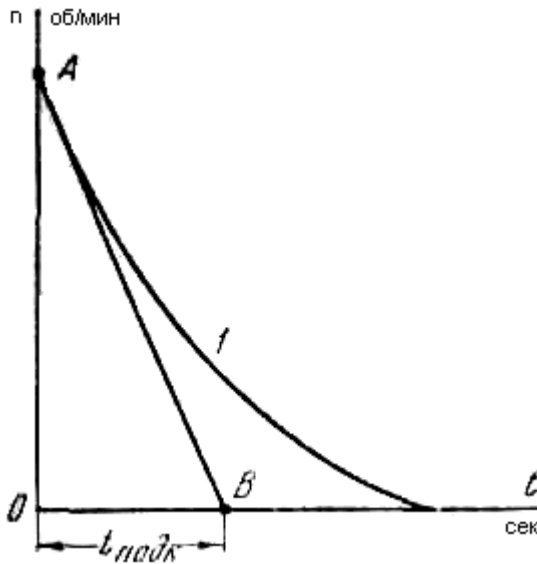


Рисунок 1.3 – Залежність  $n=f(t)$

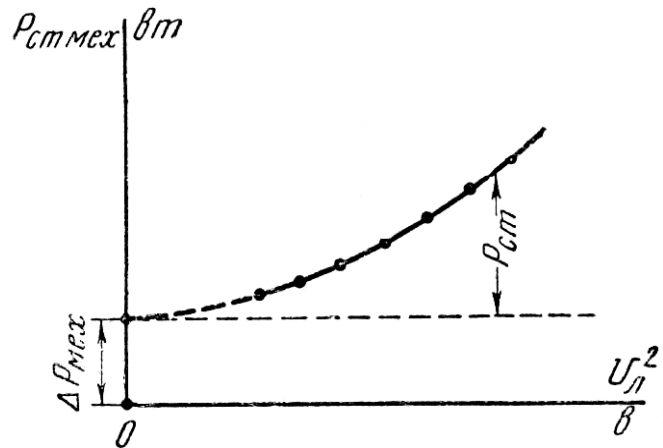


Рисунок 1.4 – Залежність  $P_{ст.мех.}=f(U_{л}^2)$

З отриманого трикутника ОАВ видно, що

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n}{t_{подк}},$$

тоді

$$J = 9.55 M_c \frac{t_{подк}}{n} \text{ [кг} \cdot \text{м}^2\text{]} \quad (1.13)$$

Величина моменту опору  $M_c$  визначається по формулі

$$M_c = \frac{9.55 \Delta P_{мех}}{n} \text{ [н} \cdot \text{м}\text{]} \quad (1.14)$$

де  $\Delta P_{мех}$  – механічні втрати обертання приводу, відповідні швидкості  $n$ , Вт.

Механічні втрати обертання знаходяться з втрат холостого ходу  $P_0$ , які у свою чергу складаються з втрат в сталі статора, механічних втрат обертання і втрат в міді статора. Втрати в міді статора визначаються по формулі

$$\Delta P_{мед} = 3 I_{л}^2 R_{ст} \text{ [Вт]} \quad (1.15)$$

де  $I_{л}$  — лінійний струм статора, А;

$R_{ст}$  — опір фази статора, Ом.

Сумарні втрати в сталі статора і механічні втрати обертання знаходять таким чином:

$$P_{ст.мех} = P_0 - \Delta P_{мед} \text{ [Вт]} \quad (1.16)$$

Для того, щоб знайти  $P_{мех}$ , необхідно відокремити від  $P_{ст.мех}$  втрати в сталі статора. Це досягається побудовою залежності  $P_{ст.мех} = f(U_{л}^2)$  (рис. 1.6) по декількох крапках.

Екстраполюючи криву до осі ординат, набувають значення  $P_{мех}$ , оскільки при  $U_{л}=0$  втрати в сталі статора дорівнюють нулю отже, залишаються одні механічні втрати обертання.

### Порядок виконання роботи

1. Визначення моменту інерції приводу з електродвигуном постійного струму з паралельним збудженням. Схема лабораторної установки для проведення досліду представлена на рисунку 1.5.

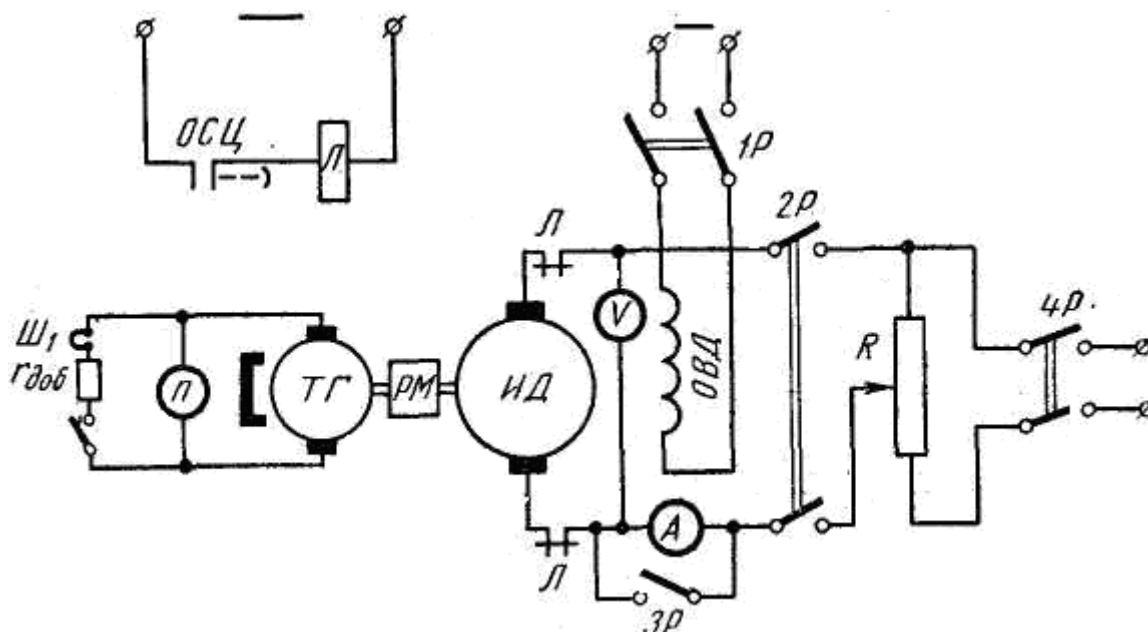


Рисунок 1.5 – Схема для визначення моменту інерції приводу з електродвигуном постійного струму

Дослід проводиться в наступному порядку:

А. Знімається крива вибігання  $n=f(t)$ . Для цього двигун ІД за допомогою потенціометра R розгониться до найбільшої швидкості (вимикач 3Р має бути замкнутий). Потім вимикачем 2Р двигун ІД від'єднують від мережі і знімають криву вибігання,  $n=f(t)$ , при цьому обмотка, збудження ОВД повинна залишатися включеною.

При довгих вибіганнях вимірювання швидкості зручно проводити за допомогою тахогенератора ТГ по електротахометру. Для цього, через рівні проміжки часу по секундоміру швидкість двигуна ІД вимірюють по

електротахометру до повної його зупинки. Результати спостережень заносять в таблицю 1.1.

При коротких вибіганнях знімати залежність швидкості від часу зручніше за допомогою осцилографа, клеми якого з'єднані з додатковим резистором та якорем тахогенератора ТГ вимикачем 5Р.

Таблиця 1.1 – Данні дослідів та експерименту

№ п/п	Дані дослідів					Дані розрахунку				
	t с	n об/хв	U у	I А	n об/хв	P <sub>0</sub> Вт	sP <sub>мед</sub> Вт	sP <sub>вр</sub>	A дж	J кг·м <sup>2</sup>
1	0									
2	5									
3	10									
4	15									
5	20									
6	25									

Б. Проводиться визначення втрат обертання приводу. За допомогою потенціометра R змінюють напругу U і записують величини I<sub>0</sub> і n. Для отримання плавної кривої знімають 10÷12 крапок від найбільшої швидкості до зупинки. Після кожного пересування движка потенціометра R необхідно дати час для встановлення швидкості. Результати спостережень заносять в таблицю 1.1.

В. По формулам (1.8), (1.9) і (1.10) обчислюють P<sub>0</sub>, ΔP<sub>мед</sub> і ΔP<sub>вр</sub> і методом, викладеним в розділі II, визначають A і J. Результати розрахунків заносять в таблицю 1.1.

2. Визначення моменту інерції приводу з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором. Схема лабораторної установки для проведення досвіду представлено на рисунку 1.6. Досвід проводиться в тому ж порядку, як і в п. 1.

А. Знімається крива вибігання  $n=f(t)$ . Для цього за допомогою потенційного-регулятора ПР (або регульованого автотрансформатора) по вольтметру V (при розімкненому вимикачі Р) встановлюють напругу, рівну номінальній напрузі двигуна ІД, а потім вимикачем Р пускається двигун.

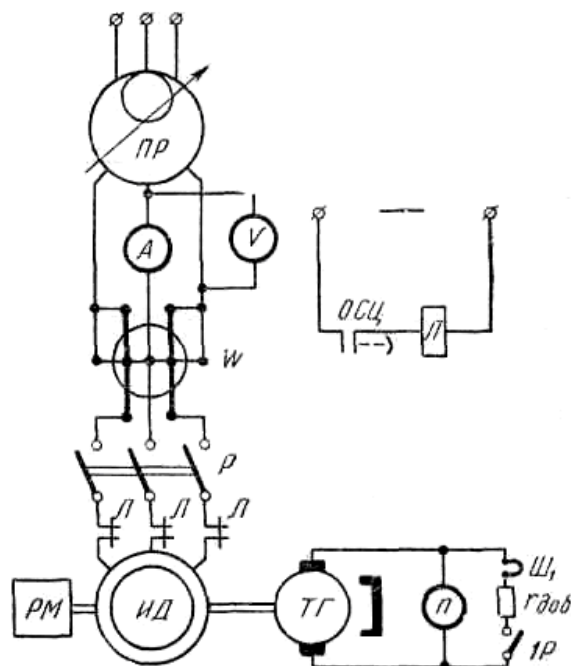


Рисунок 1.6 – Схема для визначення моменту інерції приводу з асинхронним двигуном

Після того, як двигун досягне сталою швидкості, його відключають від мережі і знімають криву вибігання.

Так само, як і для двигуна постійного струму, вимірювання швидкості при довгих вибіганнях проводиться за допомогою тахогенератора ТГ по електротахометру  $n$ , а при коротких – за допомогою осцилографа.

Результати спостережень заносять в таблиці. 1.1.

Б. Визначення втрат обертання. За допомогою потенціал-регулятора ПР або регульованого автотрансформатора змінюють напругу або записують величини ІЛ і  $P_0$ . Для отримання точнішого результату від найбільшої напруги знімають 8÷10 крапок. Результати спостережень заносять в таблицю 1.1.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ  
(НЕЗАЛЕЖНИМ) ЗБУДЖЕННЯМ**

**МЕТА РОБОТИ** — вивчення механічних характеристик електродвигунів постійного струму з паралельним збудженням в руховому і гальмівних режимах при різних способах регулювання швидкості.

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:** універсальний стенд для дослідження характеристик електродвигунів постійного струму з паралельним збудженням.

**Основні теоретичні положення**

Механічна характеристика двигуна постійного струму паралельного збудження виражається рівнянням

$$n = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{ck\Phi^2} M, \quad (2.1)$$

де  $U$  — напруга мережі, В;

$\Phi$  — магнітний потік двигуна, Вб;

$M$  — електромагнітний момент двигуна, кГ•м (н•м);

$n$  — швидкість обертання якоря, об/хв;

$R$  — опір кола якоря двигуна, Ом;

$k$  — конструктивна постійна двигуна.

У режимі генераторного гальмування з віддачею енергії в мережу швидкість двигуна стає більше швидкості ідеального холостого ходу, міняється напрям струму, а отже, змінюються знак і момент  $M$ .

Режим гальмування противключення здійснюється або зміною полярності живлячої напруги  $U$  на якорі двигуна, або під дією моменту опору навантаження, коли змінюється напрям обертання двигуна.

У режимі динамічного гальмування якір двигуна відключається від мережі і замикається на шунтуючий опір. В цьому випадку рівняння механічної характеристики приймає вигляд

$$n = -\frac{R}{ck\Phi^2} M, \quad (2.2)$$

При зашунтованому якорі рівняння механічної характеристики буде

$$n = \frac{\gamma U}{c\Phi} - \frac{[R_{\gamma} + R_{ш}(1 - \gamma)]}{ck\Phi^2} M, \quad (2.3)$$

тут

$$\gamma = \frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_{доб}},$$

де  $R_{я}$  – опір обмотки якоря двигуна;

$R_{ш}$  – шунтуючий опір, що включається паралельно якорю двигуна;

$R_{доб}$  – додатковий опір, що включається послідовно з якорем двигуна.

З рівняння (2.1) механічної характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження швидкість двигуна можна регулювати трьома основними способами: зміною опору  $R$  в колі якоря; зміною потоку збудження  $\Phi$  і зміною напруги  $U$ , що підводиться до якоря.

Регулювання швидкості зміною потоку збудження може здійснюватися введенням в коло збудження опору або зміною напруги кола збудження. У даній роботі використовується перший спосіб, що має більше розповсюдження.

Для регулювання швидкості зміною напруги, що підводиться до якоря, часто застосовується система "генератор – двигун", в якій рівняння механічної характеристики має наступний вигляд:

$$n = \frac{E_{\Gamma}}{c\Phi} - \frac{R_{\Gamma} + R_{\Gamma}}{ck\Phi^2} M, \quad (2.4)$$

де  $R_{\Gamma}$  і  $R_{\Gamma}$  — опори якірних кіл двигуна і генератора.

У деяких спеціальних установках (екскаваторах, рульових пристроях і ін.), де бажане отримання м'якої механічної характеристики і обмеження струму короткого замикання, застосовується система "генератор – двигун" з генератором (або збудником) змішаного збудження при зустрічному включенні обмоток збудження (рис. 2.1).

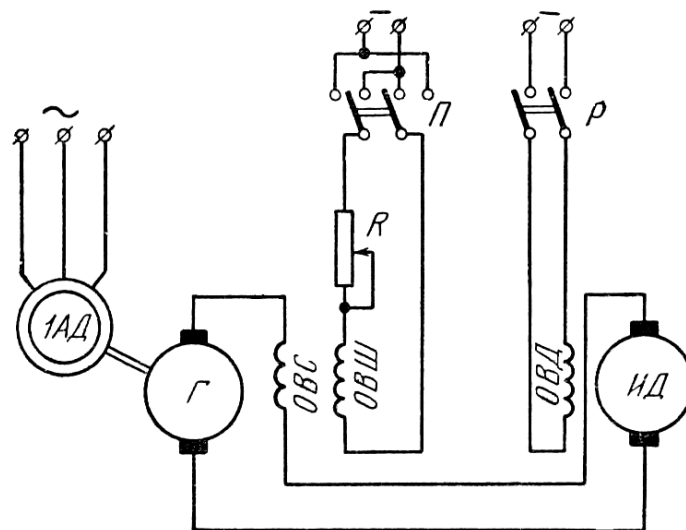


Рисунок 2.1 – Схема генератор-двигун з генератором змішаного збудження



При такому включенні обмоток із збільшенням струму якоря магнітний, потік і напруга генератора Г зменшуватимуться, а швидкість двигуна – падатиме. Механічні характеристики для цієї схеми включення при декількох напруг показані на рисунку 2.2, а.

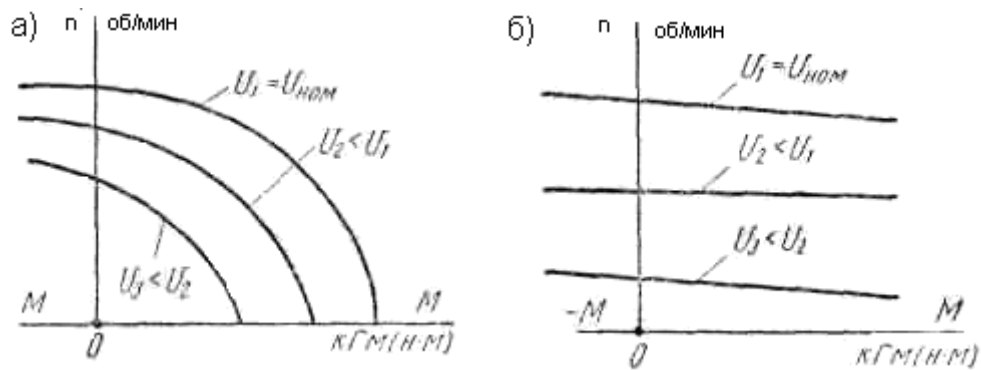


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики двигуна в системі "генератор – двигун" з генератором змішаного збудження:

*а – при зустрічному включенні обмоток збудження генератора;  
б – при приголосному включенні обмоток збудження генератора*

Жорстка механічна характеристика може бути отримана за тією же схемою, але при приголосному включенні обмоток збудження

Зразковий вид таких характеристик показаний на рисунку 2.2, б. Слід зазначити, що при дуже могутній послідовній обмотці можливо отримання характеристики, що підноситься, що, як відомо, приводить до нестійкої роботи.

### Порядок виконання роботи

Схема лабораторної установки приведена на рисунку 2.3. Двигун ІД харчується від генератора Грама, що обертається асинхронним двигуном 1АД. Генератор Г має незалежну ОЗ і послідовну ОЗ обмотки збудження. Остання може бути повністю або частково зашунтована опором  $5R$ , тобто генератор Г може бути з незалежним або з змішаним збудженням.



встановлюється такий струм збудження, щоб швидкість двигуна ІД по електротахометру ТГ була номінальною при номінальному струмі якоря. Струм збудження, який вийде при номінальних значеннях напруги, струму і швидкості двигуна ІД і буде номінальним струмом збудження  $I_{ном}$ . Цей струм у всіх дослідах (окрім зняття характеристик при ослабленому потоці) за допомогою реостата 3R повинен підтримуватися строго постійним.

Після цього приступають до зняття природної характеристики, починаючи з режиму генераторного гальмування, а потім переходять до рухового режиму.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

МЕТА РОБОТИ: отримати практичні навички та засвоїти принцип дії інформаційно-керуючої системи.

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ: універсальний стенд для дослідження асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ТА УНІВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДУ.

Інформаційно-керуюча система (ІКС) являється складовою частиною системи керування універсального стенду для дослідження асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування (МПСК). Структурна схема універсального стенду приведена на рисунку 3.1.

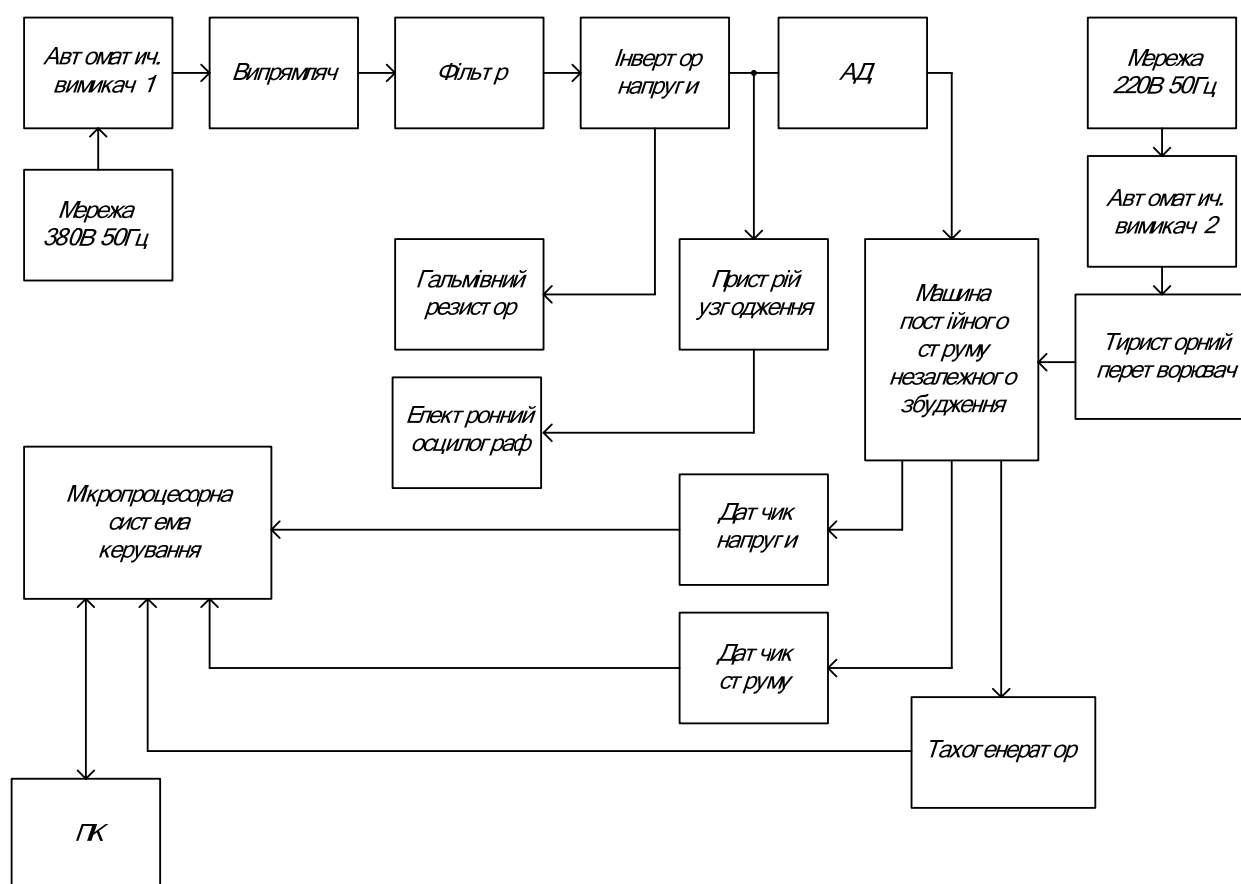


Рисунок 3.1 – Структурна схема універсального стенду

До складу стенду входить: перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, навантажувальна машина, тиристорний перетворювач, мікропроцесорна система керування, гальмівний резистор, електронний осцилограф з пристроєм узгодження, датчики напруги, струму та частоти обертів, а також персональний комп'ютер з інформаційно-керуючою системою.

Перетворювач частоти виконано з ланцюгом постійного струму. Він складається з випрямляча, фільтра та інвертора напруги. Випрямляч виконано наполовину керованим, інвертор напруги – на IGBT-транзисторах. Живлення випрямляча забезпечується від мережі живлення 380В 50Гц через автоматичний вимикач. На вихід інвертора напруги підключено асинхронний двигун (АД). В якості навантажувальної машини використовується машина постійного струму незалежного збудження. Машина постійного струму живиться від мережі живлення 220В 50Гц через автоматичний вимикач та тиристорний перетворювач. Для забезпечення режиму гальмування використовується гальмівний резистор.

В стенді встановлено також пристрій узгодження для підключення електронного осцилографа. Це дозволяє спостерігати процеси в силовій схемі електропривода.

Для виміру частоти обертання АД використовується тахогенератор. Датчики напруги, струму та тахогенератор підключені до мікропроцесорної системи керування, яка виконана на базі контролера TMS320. МПСК має зв'язок з ІКС, встановленою на персональному комп'ютері, через послідовний канал зв'язку RS485/ RS232.

ІКС виконана у вигляді програмного пакету для персонального комп'ютера та призначена для завдання режиму роботи електропривода, збору, реєстрації й обробки даних, а також контролю перехідних процесів, що протікають в силовій схемі та системі керування електроприводу.

ІКС дозволяє змінювати параметри регулятора, задавати час протікання досліду, змінювати закони керування тощо.

Вона складається з підсистем збору та обробки даних, зміни коефіцієнтів, збереження даних, розрахунку контролюючих та діагностуючих параметрів.

Система забезпечує відображення параметрів у реальному часі та їх вивід на монітор комп'ютера.

## ОПИС ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

Вид основного вікна програми ІКС (IS-AK) представлений на рисунку 3.2.

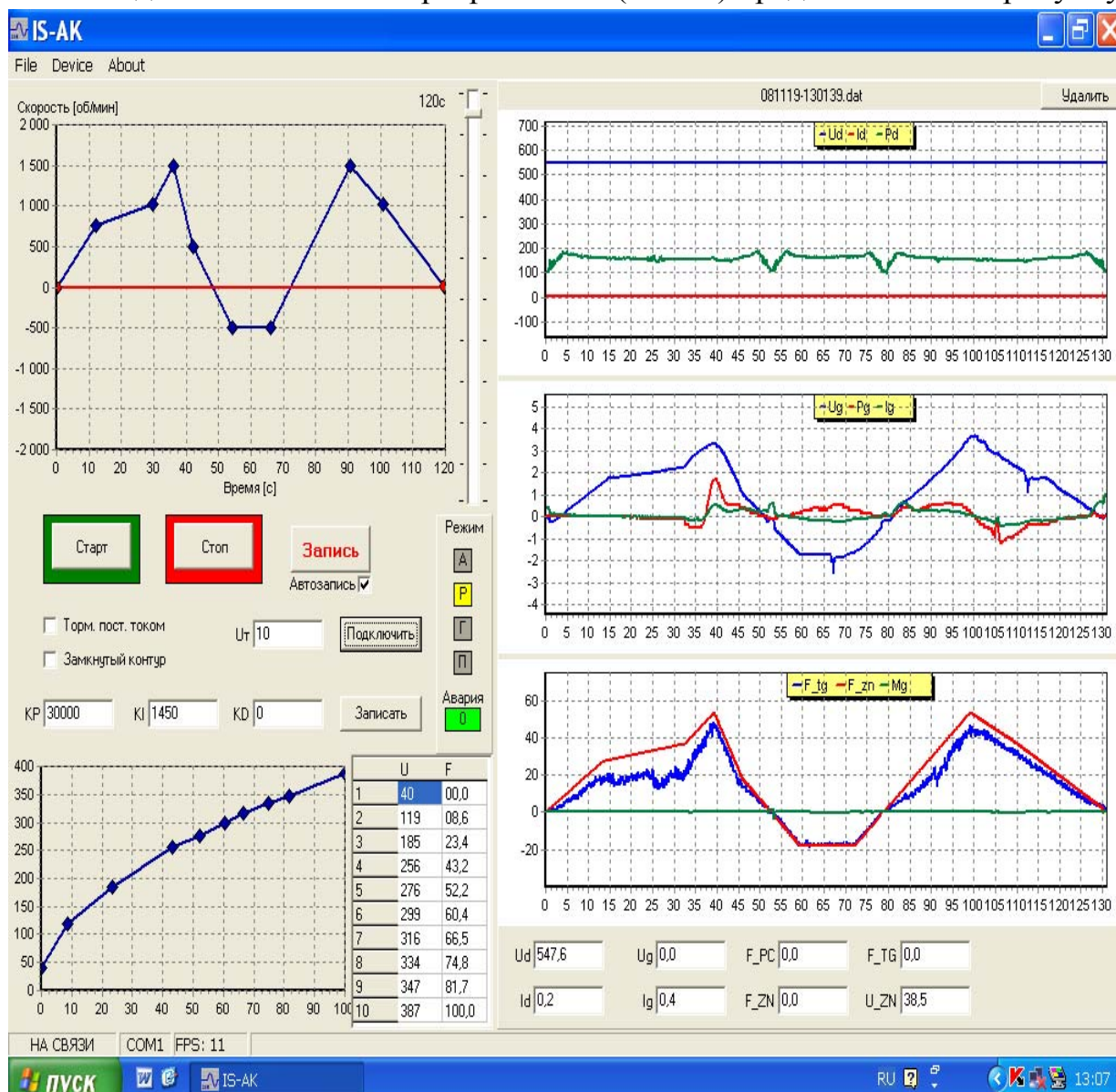


Рисунок 3.2 – Вид основного вікна програми ІКС

Інформаційно-керуюча система при роботі у складі системи керування електроприводу надає користувачу наступні можливості:

- візуалізація параметрів електроприводу;
- візуалізація поточного стану електроприводу;
- зміна параметрів системи керування електроприводом;
- накопичення даних про режими роботи електроприводу;
- формування завдань і дій, що забезпечують керування;
- проглядати накопичені дані;
- проводити аналіз даних;
- проводити коректування і редагування даних;
- формувати звіти.

Робоче вікно програми ІКС умовно розділено на дві області: область керування регулятором і область відображення сигналів (рис. 3.3).

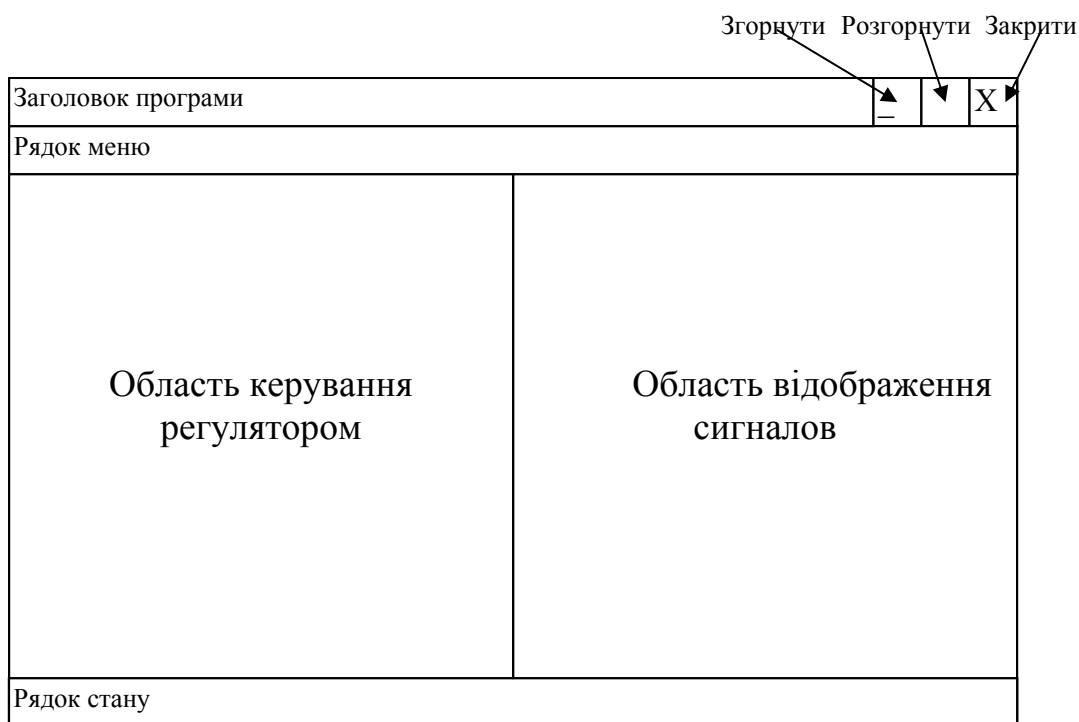


Рисунок 3.3 – Структура основного вікна програми ІКС

Робоче вікно складається із стандартних елементів управління Windows:

«Заголовок програми» (Title), який включає піктограму, назву програми і кнопки керування вікном: «Згорнути» (Minimize), «Розгорнути» (Maximize), «Закрити» (Close);

«Рядок меню» (Menu Bar), який складається з елементів «Файл» (File), «Пристрій» (Device), «Про програму» (About);

Область управління регулятором;

Область відображення сигналів;

«Рядок стану» (Status Bar), на якому відображається стан зв'язку з контролером, номер використовуваного COM порту, швидкість обміну даними, прогрес завантаження файлів даних.

### **Область керування регулятором**

Область керування регулятором розділена на область завдання швидкості електроприводу, область керування коефіцієнтами регулятора і режимом роботи регулятора, область завдання напруги по частоті  $U(f)$  (рис. 3.4).

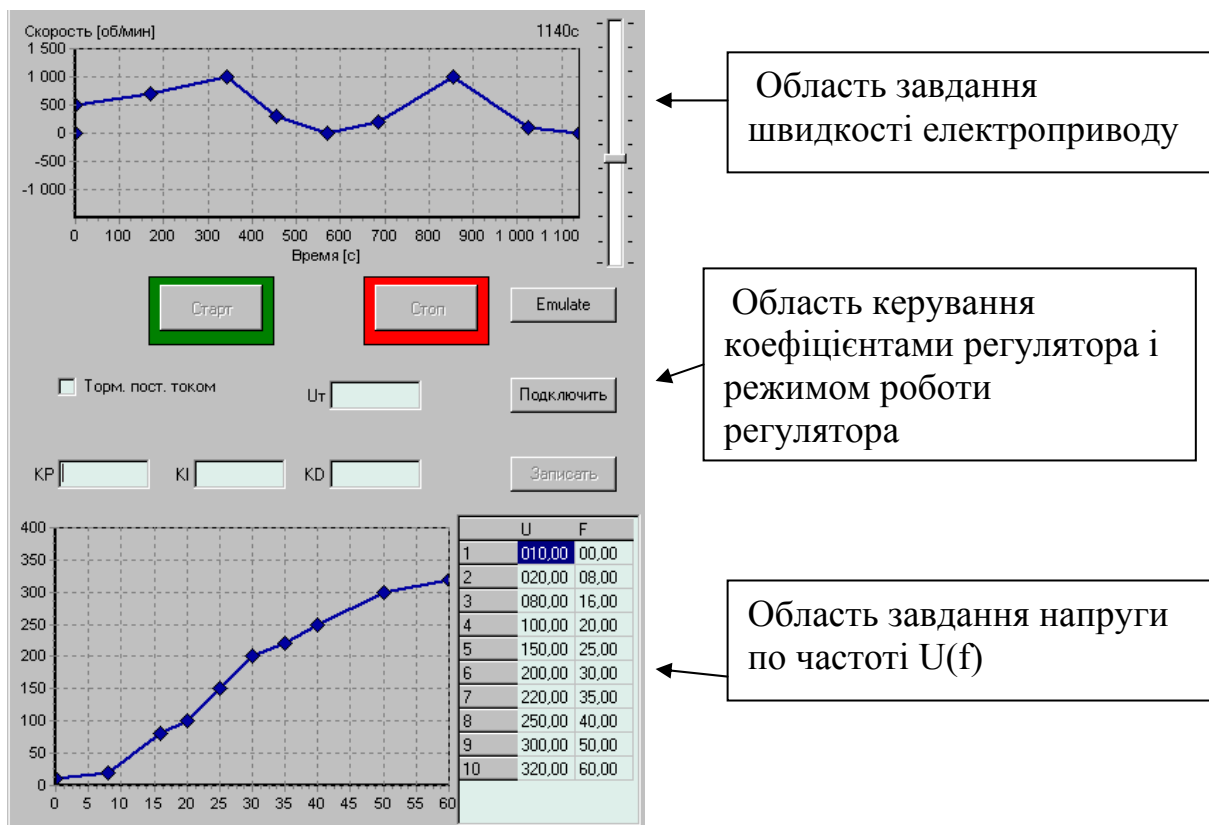


Рисунок 3.4 – Структура області керування регулятором

**Область задания скорости** электропривода складается з графіка зміни швидкості в часі і завдання часу процесу регулювання (рис. 3.5).

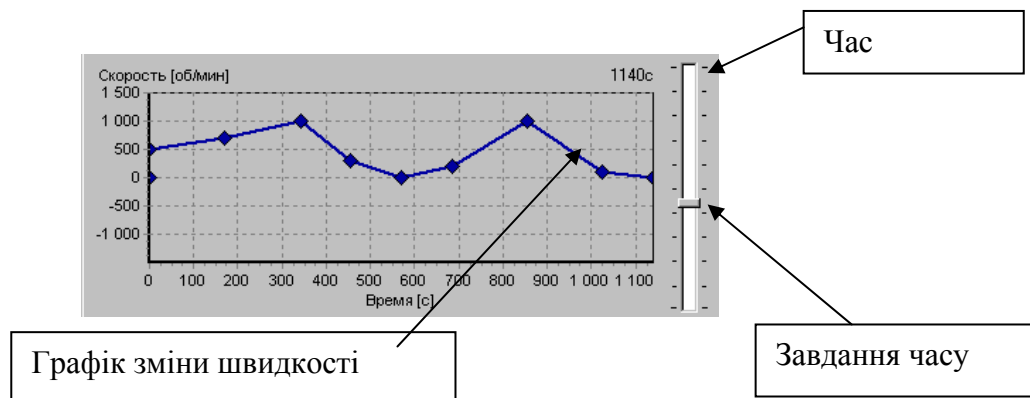


Рисунок 3.5 – Области задания скорости

Графік зміни швидкості дозволяє поточечно задати траєкторію зміни швидкості електроприводу в часі. Загальний час розгону і гальмування електроприводу в секундах задається у вигляді повзункового регулятора, розташованого праворуч від графіка зміни швидкості. Швидкість може змінюватися в діапазоні від -1500 до +1500 об/хв. Знак визначає напрям обертання ротора електродвигуна електроприводу. Негативні значення відповідають обертанню ротора проти годинникової стрілки. При редагуванні



графіка зміни швидкості автоматично відображаються поточні значення ключових точок траєкторії (рис. 3.6).

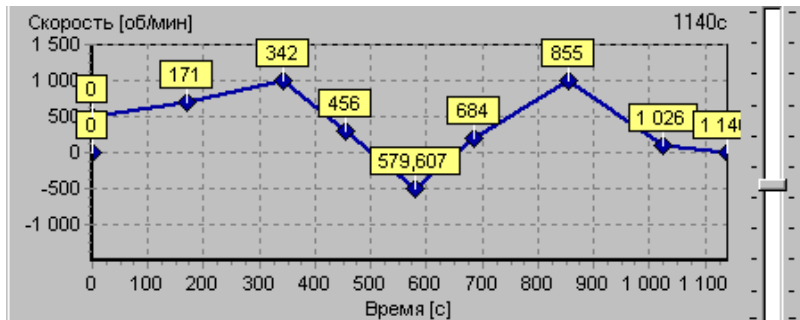


Рисунок 3.6 – Редагування графіка швидкості

Слід зазначити, що під час роботи регулятора в активному режимі (керування швидкістю електроприводу) неможлива зміна графіка швидкості.

**Область керування коефіцієнтами** регулятора і режимом роботи регулятора складається з кнопок «Старт», «Стоп», «Подключить» і «Записать».

Кнопки «Старт» і «Стоп» керують режимами роботи регулятора електроприводу (рис. 3.4). Керування можливе тільки при встановленні зв'язку з регулятором. Перед початком роботи з регулятором необхідно встановити зв'язок шляхом натиснення на кнопку «Подключить».

При зміні настройок регулятора необхідно ввести відповідні значення в поля введення  $U_t$ ,  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  (рис. 3.4), а потім натиснути кнопку «Записать» для запису змінених коефіцієнтів в пам'ять регулятора.

Призначення коефіцієнтів:

$U_t$  – напруга, що подається на електродвигун в режимі гальмування постійним струмом;

$K_P$  – пропорційний коефіцієнт в ПІД-регуляторі;

$K_I$  – інтегральний коефіцієнт в ПІД-регуляторі;

$K_D$  – диференціальний коефіцієнт в ПІД-регуляторі.

Діапазон зміни коефіцієнта  $U_t$  від 0 до 750 В.

Діапазон зміни коефіцієнтів  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  від -1,999 до +1,999.

Слід зазначити, що під час роботи регулятора в активному режимі (керування швидкістю електроприводу) неможлива зміна коефіцієнтів регулятора.

## Область відображення сигналів

Область відображення складається з чотирьох областей відображення сигналів (рис. 3.7).

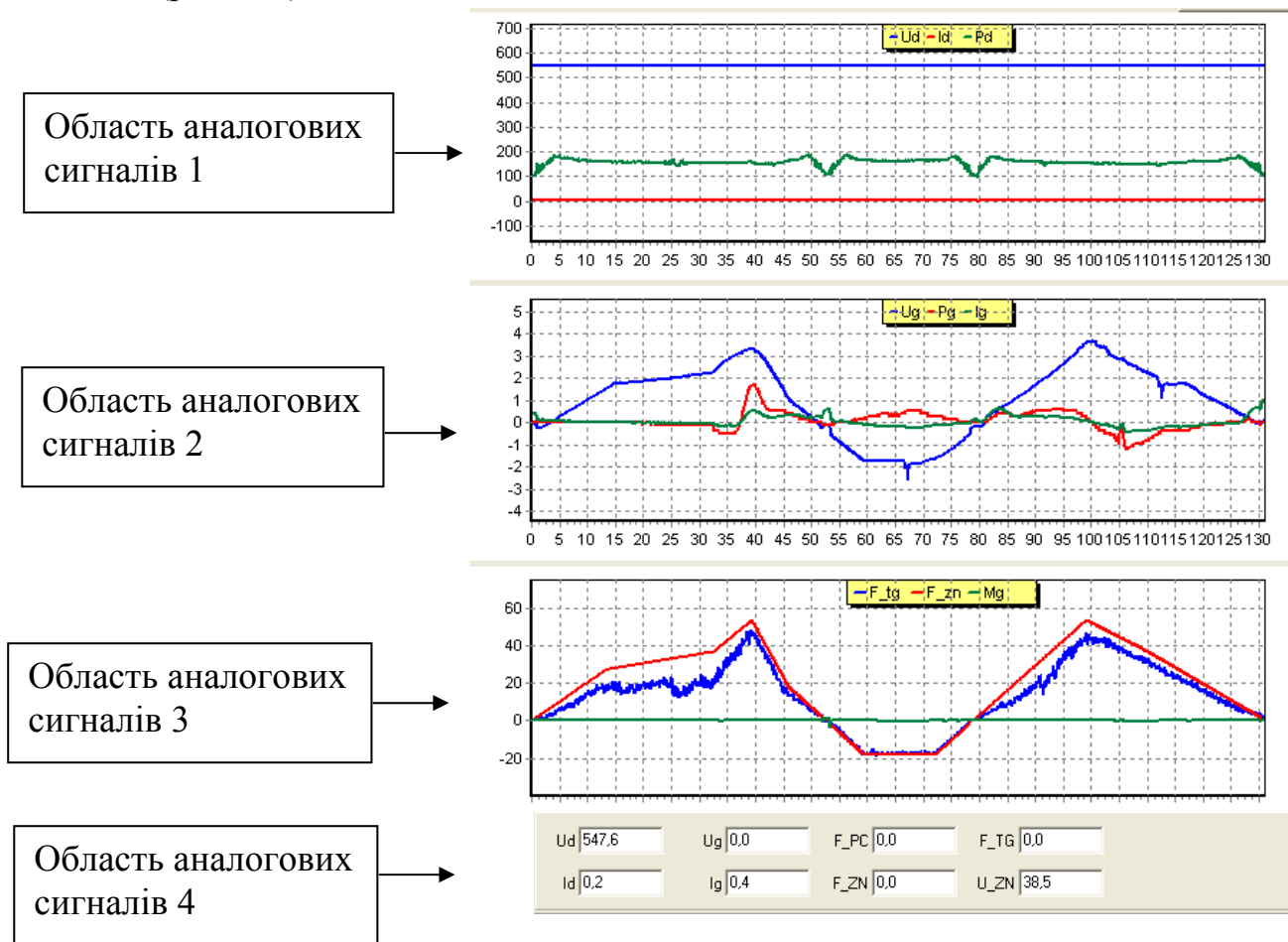


Рисунок 3.7 – Структура області відображення сигналів

Області відображення аналогових сигналів дозволяють одночасно спостерігати і аналізувати три різні сигнали. Вибір аналогових сигналів проводиться за допомогою контекстного меню для відповідної області відображення аналогових сигналів (рис. 3.8).

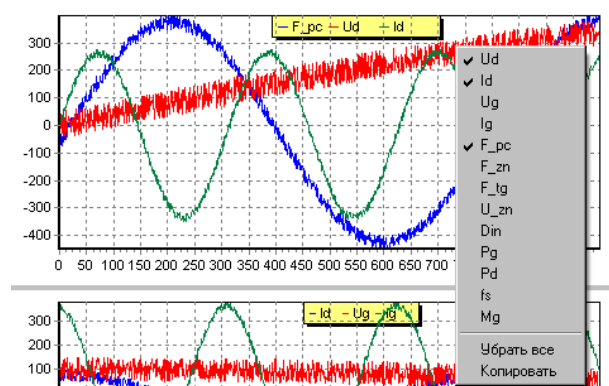


Рисунок 3.8 – Вибір аналогових сигналів для відображення

Масштабування графіків проводиться автоматично. Можливо і ручне масштабування. Для ручного збільшення масштабу певної області графіка необхідно за допомогою маніпулятора «миша» виділити відповідний фрагмент графіка: «кликнути» в лівому верхньому кутку збільшуваної області, потім перемістити курсор в правий нижній кут області і відпустити ліву кнопку «миші». Для повернення до автоматичного масштабу необхідно виконати аналогічні дії, але переміщати курсор з правого нижнього кута в лівий верхній.

Область відображення аналогових сигналів 4 дозволяє відображати аналогові сигнали в цифровому виді.

### Список використовуваних сигналів

Інформаційно-керуюча система здатна приймати і відображати сигнали, які приведені таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Список використовуваних сигналів

№ п/п	Позначення	Призначення
1	Ud	Напруга ланки постійного струму
2	Id	Струм ланки постійного струму
3	Ug	Напруга машини постійного струму
4	Ig	Струм генератора
5	F <sub>pc</sub>	Завдання частоти валу АД
6	F <sub>zn</sub>	Підтвердження частоти валу АД
7	F <sub>tg</sub>	Вихідна частота валу АД
8	U <sub>zn</sub>	Завдання напруги
9	Din	Дискретні
10	Pg	Потужність генератора
11	Pd	Потужність двигуна
12	Fs	Ковзання
13	Mg	Момент

### ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Включити автоматичний вимикач 1. Переконатися, що 3-фазна напруга 380В 50 Гц подана на універсальний стенд і мікропроцесорна система керування працює (на корпусі перетворювача частоти світиться світлодіод зеленим кольором).
2. Включити ПК. Заактивувати програму ІКС.
3. На основному вікні ІКС за допомогою маніпулятора «миша» натиснути на кнопку «Підключить». При цьому ІКС підключиться до мікропроцесорної системи керування стенду.

4. За допомогою маніпулятора «миша» заактивувати вікно «Автозапуск».
5. Повзунковим регулятором виставити час проведення досліду – 20 с.
6. За вказівкою викладача виставити за допомогою маніпулятора «миша» необхідний графік розгону та зупинки електроприводу.
7. В першій області відображення сигналів виставити сигнал  $U_d$ .
8. В другій області відображення сигналів виставити сигнал  $F_{ps}$ .
9. В третій області відображення сигналів виставити сигнал  $F_{tg}$ .
10. За допомогою маніпулятора «миша» натиснути кнопку «Старт».
11. Для зупинки електроприводу натисніть кнопку «Стоп».
12. Після зупинки електроприводу в області відображення сигналів з'являться три графіки, які потрібно привести в звіт.

### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Для чого призначена ІКС?
2. Що дозволяє робити ІКС?
3. Яка структура основного вікна програми ІКС?
4. На скільки областей розділена область керування регулятором? Перечислити їх.
5. Що необхідно зробити, щоб ІКС підключити до мікропроцесорної системи керування стенду?
6. Перечислити складові області керування коефіцієнтами.
7. Скільки областей відображення сигналів?
8. Перечислити складові області завдання швидкості.
9. Яким способом можна задавати завдання напруги по частоті?
10. Які сигнали можна спостерігати в області відображення сигналів?
11. Яку максимальну кількість сигналів можна спостерігати в області відображення сигналів?
12. В якому виді відображаються сигнали в області відображення аналогових сигналів 4?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА  
НАПРУГИ В СКЛАДІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

**МЕТА РОБОТИ:** отримати практичні навички та засвоїти принцип роботи автономного інвертора напруги в складі асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування.

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:** універсальний стенд для дослідження асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА  
НАПРУГИ ТА ЙОГО РОБОТИ В СКЛАДІ АСИНХРОННОГО  
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Автономні інвертори – це пристрої, що перетворюють постійний струм в змінний з постійною чи регульованою частотою і мають автономне навантаження.

Автономні інвертори напруги (АІН) формують в навантаженні напругу, форма і фаза якої залежать від характеру навантаження. АІН живляться від джерел напруги. Якщо АІН живиться від випрямляча, то на його вході ставиться конденсатор достатньо великої ємності для забезпечення провідності джерела постійної напруги в зворотному напрямку. Автономний інвертор напруги може працювати в режимі холостого ходу. Робота АІН в режимі, близькому до короткого замикання, визначається комутаційними властивостями повністю керованих вентилів чи прийнятим способом комутації та параметрами комутації елементів звичайних тиристорів. АІН мають малі зміни форми кривої та величини вихідної напруги при зміні вихідної частоти в широких межах. Комутаційні процеси в АІН мало впливають на форму кривої вихідної напруги, а встановлена потужність комутуючих елементів порівняно не велика. Зовнішня характеристика інвертора жорстка.

Найбільшого застосування знайшли трифазні АІН з широтно – імпульсною модуляцією (ШІМ). Автономні інвертори з ШІМ є найбільш перспективним перетворювачем енергії для асинхронного електроприводу. В автономних інверторах напруги частота перемикання ключів набагато більша за частоту вихідної напруги. Завдяки цьому виникає можливість шляхом плавної зміни шпаруватості протягом періоду вихідної напруги не тільки регулювати рівень цієї напруги, а й забезпечити практично синусоїдальну форму вихідного струму.

На рисунку 4.1 приведена схема трифазного мостового автономного інвертора напруги.

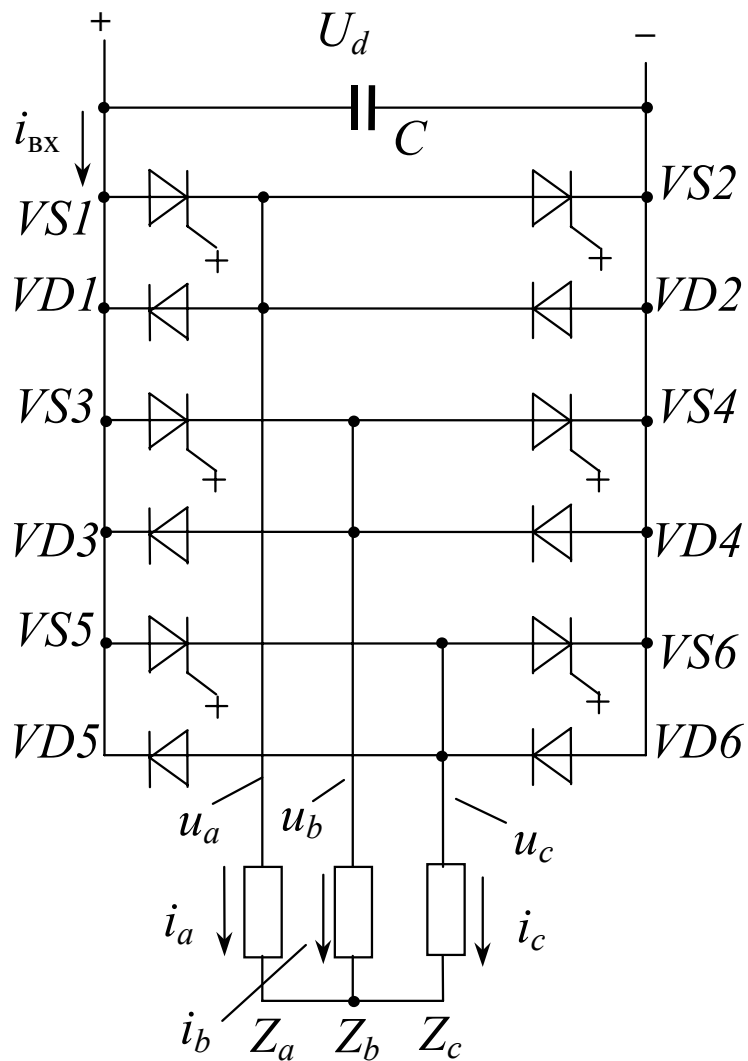


Рисунок 4.1 – Схема трифазного мостового автономного інвертора напруги

Часові діаграми роботи трифазного АІН з ШІМ на активно-індуктивне навантаженням приведені на рисунку 4.2.

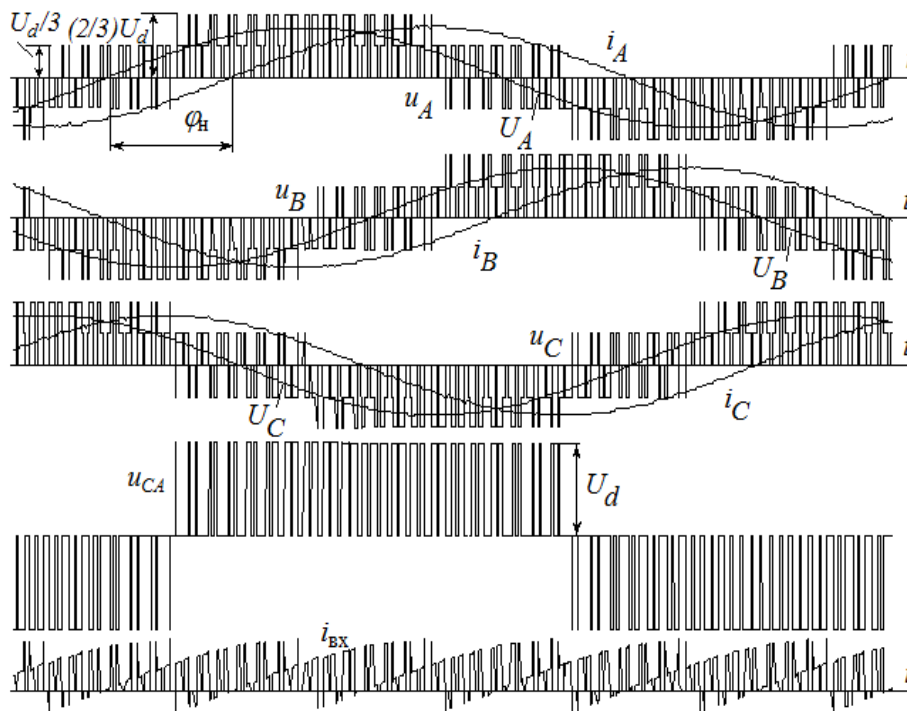


Рисунок 4.2 – Часові діаграми трифазного АІН з ШІМ та активно-індуктивним навантаженням

В універсальному стенді використовується перетворювач частоти з ланкою постійного струму. Структурна схема універсального стенду приведена на рисунку 4.3

До складу перетворювача частоти входить трифазний АІН з ШІМ на IGBT-транзисторах, тому мається можливість досліджувати роботу автономного інвертора напруги в складі асинхронного електроприводу. Навантаженням трифазного АІН служить асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (АД). Живиться АІН від трифазного напівкероаного випрямляча. В ланці постійного струму стоїть ємкісний фільтр.

Напруга на випрямляч подається від мережі живлення 380В 50Гц через автоматичний вимикач 1. В якості навантажувальної машини для асинхронного електродвигуна використовується машина постійного струму незалежного збудження. Машина постійного струму живиться від мережі живлення 220В 50Гц через автоматичний вимикач 2 та тиристорний перетворювач.

В стенді встановлено також пристрій узгодження для підключення електронного осцилографа. Це дозволяє спостерігати процеси в силовій схемі електроприводу, в тому числі напругу на виході АІН та фазний струм АД.

Для виміру частоти обертання АД використовується тахогенератор. Датчики напруги, струму та тахогенератор підключені до мікропроцесорної

системи керування (МПСК), яка виконана на базі контролера TMS320. МПСК має зв'язок з інформаційно-керуючою системою (ІКС), встановленою на персональному комп'ютері.

Для дослідження роботи автономного інвертора напруги в складі асинхронного електроприводу необхідно задати режим роботи електроприводу. Завдання керування формується ІКС в області завдання швидкості електроприводу (рис. 4.3).

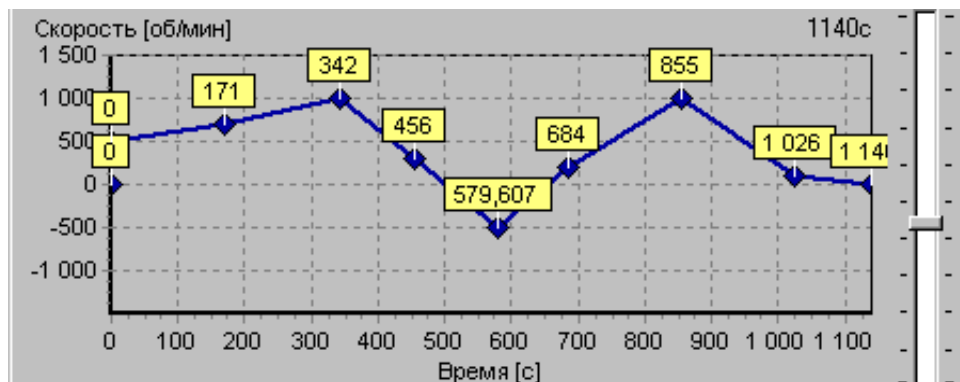


Рисунок 4.3 – Графік зміни швидкості в часі

Графік зміни швидкості дозволяє поточечно задати траєкторію зміни швидкості електроприводу в часі. Загальний час розгону і гальмування електроприводу в секундах задається у вигляді повзункового регулятора, розташованого праворуч від графіка зміни швидкості. Швидкість може змінюватися в діапазоні від -1500 до +1500 об/хв. Знак визначає напрям обертання ротора електродвигуна електроприводу. Негативні значення відповідають обертанню ротора проти годинникової стрілки. При редагуванні графіка зміни швидкості автоматично відображаються поточні значення ключових точок траєкторії.

Слід зазначити, що під час роботи регулятора в активному режимі (керування швидкістю електроприводу) неможлива зміна графіка швидкості керування.



## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Включити автоматичний вимикач 1. Переконавшись, що 3-фазна напруга 380В 50 Гц подана на універсальний стенд і мікропроцесорна система керування працює (на корпусі перетворювача частоти світиться світлодіод зеленим кольором).
2. Включити електронний осцилограф.
3. Включити ПК. Заактивувати програму ІКС.
4. На основному вікні ІКС за допомогою маніпулятора «миша» натиснути на кнопку «Подключить». При цьому ІКС підключиться до мікропроцесорної системи керування стенду.
5. За допомогою маніпулятора «миша» заактивувати вікно «Автозапуск».
6. Повзунковим регулятором виставити час проведення досліду – 40 с.
7. За вказівкою викладача виставити за допомогою маніпулятора «миша» необхідний графік розгону та зупинки електроприводу.
8. В першій області відображення сигналів виставити сигнали:  $U_d$  та  $I_d$ .
9. В другій області відображення сигналів виставити сигнал  $F_{pc}$  та  $P_d$ .
10. В третій області відображення сигналів виставити сигнал:  $F_{zn}$  та  $F_{tg}$ .
11. За допомогою маніпулятора «миша» натиснути кнопку «Старт».
12. На екрані електронного осцилографа спостерігати напругу на виході автономного інвертора напруги при роботі його в режимі ШІМ та фазний струм.
13. Для зупинки електроприводу натисніть кнопку «Стоп».
14. Після зупинки електроприводу в області відображення сигналів з'являться три графіки, які потрібно привести в звіт.
15. Повторити дослід при більш пологому графіку розгону та зупинки електроприводу. Одержані графіки привести в звіт.

## ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити назву лабораторної роботи, мету роботи, місце проведення роботи, короткі загальні положення, характеристики розгону та зупинки електроприводу при заданих умовах, часові діаграми напруги на виході автономного інвертора напруги при роботі його в режимі ШІМ та фазного струму АД, висновки.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Від яких джерел живляться АІН?
2. Який фільтр ставиться на вході АІН?
3. Чи може працювати АІН в режимі холостого ходу?
4. Чи може працювати АІН в режимі, близькому до короткого замикання?
5. Як впливають комутаційні процеси в АІН на форму кривої вихідної напруги?
6. Де використовуються трифазні АІН з широтно – імпульсною модуляцією ?
7. Поясніть принцип ШІМ.
8. Поясніть роботу автономного інвертора напруги в режимі ШІМ.
9. Як визначити частоту вихідного струму автономного інвертора напруги?
10. Як змінюються імпульси ШІМ автономного інвертора напруги при розгоні електродвигуна?
11. Як змінюються імпульси ШІМ автономного інвертора напруги при сповільненні електродвигуна?
12. Як визначити період вихідного струму АІН на екрані електронного осцилографа?

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ В СКЛАДІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В РЕЖИМІ ДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ.**

**МЕТА РОБОТИ:** отримати практичні навички та засвоїти принцип роботи автономного інвертора напруги в режимі динамічного гальмування.

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:** універсальний стенд для дослідження асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування.

### **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМУ ДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ТА ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ НА УНІВЕРСАЛЬНОМУ СТЕНДІ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ**

Асинхронний електродвигун в режимі динамічного гальмування представляє собою синхронний генератор з неявно вираженими полюсами, що працює при змінній частоті. Його навантаженням є опір ланки ротора.

Для реалізації динамічного гальмування асинхронного електродвигуна необхідно відключити його від мережі живлення змінного струму та підключити дві фази статора до джерела живлення постійного струму. Взаємодія струму ротора та нерухомого поля статора призводить до появи гальмівного моменту. При цьому механічна енергія, що поступає на вал асинхронного електродвигуна, перетворюється в електричну, а остання розсіюється в виді тепла в опорах ротора.

В універсальному стенді для реалізації режиму динамічного гальмування використовується автономний інвертор напруги, який працює як імпульсний перетворювач з ШІМ. При цьому на дві фази асинхронного електродвигуна подається напруга, середнє значення якої залежить від ширини однополярних імпульсів.

Для здійснення режиму динамічного гальмування необхідно на основному вікні програми ІКС в області керування регулятором заактивувати вікно «Гальм. пост. током» та в області керування коефіцієнтами регулятора ввести відповідне значення коефіцієнта  $U_t$ .

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Включити автоматичний вимикач 1. Переконавшись, що 3-фазна напруга 380В 50 Гц подана на універсальний стенд і мікропроцесорна система керування працює (на корпусі перетворювача частоти світиться світлодіод зеленим кольором).
2. Включити електронний осцилограф.
3. Включити ПК. Заактивувати програму ІКС.
4. На основному вікні ІКС за допомогою маніпулятора «миша» натиснути на кнопку «Подключить». При цьому ІКС підключиться до мікропроцесорної системи керування стенду.
5. Повзунковим регулятором виставити час проведення досліду – 20 с.
6. За вказівкою викладача виставити за допомогою маніпулятора «миша» необхідний графік розгону та зупинки електроприводу.
7. В області керування коефіцієнтами регулятора ввести значення коефіцієнта  $U_t$  рівним 5, а потім натиснути кнопку «Записать» для запису коефіцієнта в пам'ять регулятора.
8. В області керування регулятором заактивувати вікно «Торм. пост. током».
9. В першій області відображення сигналів виставити сигнали:  $U_d$  та  $I_d$ .
10. В другій області відображення сигналів виставити сигнал  $F_{pc}$  та  $P_d$ .
11. В третій області відображення сигналів виставити сигнал:  $F_{zn}$  та  $F_{tg}$ .
12. За допомогою маніпулятора «миша» натиснути кнопку «Запись».
13. За допомогою маніпулятора «миша» натиснути кнопку «Старт».
14. Для переведення електроприводу в режим гальмування натисніть кнопку «Стоп».
15. Після зупинки електроприводу в області відображення сигналів з'являться три графіки, які потрібно привести в звіт.
16. Повторити дослід при збільшенні коефіцієнта  $U_t$  до 10. Одержані графіки привести в звіт.

**УВАГА! НЕ ТРИМАЙТЕ ЗУПИНЕНИЙ АСИНХРОННИЙ  
ЕЛЕКТРОДВИГУН ПІД НАПРУГОЮ БІЛЬШЕ 20 СЕК, ЩОБ  
ВИКЛЮЧИТИ ЙОГО ПЕРЕГРІВ.**

## **ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт повинен містити назву лабораторної роботи, мету роботи, місце проведення роботи, короткі загальні положення, характеристики розгону та зупинки електроприводу при заданих умовах, часові діаграми напруги на виході автономного інвертора напруги при роботі його в режимі ШІМ та фазного струму АД, висновки.

### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Що представляє собою асинхронний електродвигун в режимі динамічного гальмування?
2. Що являється навантаженням асинхронного електродвигуна?
3. Що необхідно для реалізації динамічного гальмування асинхронного електродвигуна?
4. Взаємодія яких параметрів створює гальмівний момент на валу асинхронного електродвигуна?
5. Який режим гальмування передбачено в універсальному стенді?
6. Що необхідно зробити для реалізації гальмівного режиму в універсальному стенді?
7. Чому при реалізації динамічного гальмування необхідно відключити асинхронний електродвигун від джерела живлення після його зупинки ?
8. Як працює автономний інвертор напруги в режимі динамічного гальмування асинхронного електроприводу.
9. В режимі динамічного гальмування асинхронного електроприводу напруга на виході АІН однополярна чи двополярна?

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1980, – 434 с.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. – К.: Вища школа, 1978, – 424 с.
3. Справочник по преобразовательной технике под ред. И.М. Чиженко – К.: Техніка, 1978.

*Навчальне видання*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

## **ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

*(для студентів усіх форм навчання напряму підготовки  
6.050702 – Електромеханіка  
та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.05070203 – Електричний транспорт)*

Укладачі: **ДОНЕЦЬ** Олександр Вадимович  
**ПЕТРЕНКО** Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск: к.т.н. доц. *О. В. Донець*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 165М

---

Підп. до друку 13.05.2011

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 2,2

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014р.